

Predição de ganhos genéticos na população de milho pipoca UNB-2U sob seleção recorrente utilizando-se diferentes índices de seleção

Genetic gain prediction on UNB-2U popcorn population under recurrent selection by using different selection indexes

Silvério de Paiva Freitas Júnior¹; Antonio Teixeira do Amaral Júnior^{2*};
Ramon Macedo Rangel¹; Alexandre Pio Viana²

Resumo

Com o intento de estimar a predição de ganhos por índices de seleção no ciclo C4 de UNB-2U, duzentas famílias de irmãos-completos foram obtidas a partir da população de terceiro ciclo de seleção recorrente. As progênies foram avaliadas no delineamento de blocos casualizados com duas repetições dentro de “sets” em dois ambientes distintos: Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, e Estação Experimental da PESAGRO-RIO, em Itaocara, Rio de Janeiro. Os índices de seleção empregados para predizer os ganhos foram os de Mulamba e Mock (1978), Pesek e Baker (1969), Smith (1936) e Hazel (1943) e Williams (1962). O índice de seleção Mulamba e Mock (1978) além de permitir a predição de ganhos negativos para número de espigas doentes e atacadas por pragas, número de plantas quebradas e acamadas, e espigas mal empalhadas; para capacidade de expansão e rendimento dos grãos, proporcionou ganhos superiores aos demais índices, com valores respectivos de 10,55% e 8,50%, na utilização de pesos arbitrários atribuídos por tentativas.

Palavras-chave: *Zea mays*, seleção recorrente intrapopulacional, famílias de irmãos-completos, seleção combinada

Abstract

Aiming to estimate the gain prediction by using selection indexes on cycle C4 of UNB-2U, two hundred progenies of full-sib families were obtained on the third cycle under recurrent selection. The progenies were evaluated in a randomized complete block design with two replications within sets, in two distinct environments: Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, located in Campos dos Goytacazes, and Experimental Station of PESAGRO-Rio, located in Itaocara, Rio de Janeiro State. The utilized selection indexes were the Smith (1936) and Hazel (1943), Pesek and Baker (1969), Williams (1962), and Mulamba and Mock (1978). The selection index of Mulamba and Mock (1978) allowed the prediction of negative gains for number of disease ears, number of ears attacked by insects, number of broken plants, poorly hulled ears; and it provided superior gains for popcorn expansion and grain yield, with values of 10.55% and 8.50%, respectively, in the use of arbitrary weights attributed by tentative.

Key words: *Zea mays*, intrapopulation recurrent selection, full-sib families, tandem selection

¹ Doutores em Genética e Melhoramento de Plantas pela UENF. Email: amaraljr@uenf.br

² Professores Associados da UENF, Bolsistas do CNPq.

* Autor para correspondência

Introdução

A indicação de cultivares baseando-se em apenas uma característica não é a melhor opção a ser adotada nos programas de melhoramento atualmente, pois enquanto ao produtor interessa a capacidade produtiva do material genético, ao consumidor importa a qualidade do produto a ser consumido. Em relação ao milho pipoca, tal composição está diretamente vinculada com pelo menos duas características: rendimento dos grãos e capacidade de expansão dos grãos. A primeira interessa ao produtor. A capacidade de expansão, por sua vez, tem forte importância para os consumidores, que desejam degustar uma pipoca macia e que não haja muitos peruás (FARIA et al., 2008; RANGEL et al., 2008; SANTOS et al., 2008; VILELA et al., 2008; FREITAS JÚNIOR et al., 2009).

Associar elevados rendimentos a boa capacidade de expansão não é uma tarefa simples; a correlação negativa entre essas características (PACHECO et al., 1998; DAROS et al., 2004b; VIEIRA et al., 2009b) dificulta a eficiência do trabalho do melhorista, sobretudo quando se utiliza seleção truncada (FREITAS JÚNIOR et al., 2006; RANGEL et al., 2007; SANTOS et al., 2007; VIEIRA et al., 2009a). Para contornar esse inconveniente é necessário recorrer ao uso dos índices de seleção, cuja pujança estatística sobrepõe a correlação negativa e permite a seleção de progênies produtivas e com elevada qualidade da pipocamento dos grãos em programas de seleção recorrente.

Os índices de seleção constituem técnicas multivariadas que associam as informações relativas a várias características de interesse agrônomo com as propriedades genéticas da população avaliada. Com os índices de seleção criam-se valores numéricos, que funcionam como uma característica adicional, teórica, resultante da combinação de determinadas características selecionadas pelo melhorista, sobre as quais se deseja manter seleção simultânea (CRUZ; CARNEIRO, 2008). Diferentes índices representam variadas alternativas de seleção nos

programas de melhoramento, e conseqüentemente, de ganhos percentuais.

Smith (1936) propôs o uso de índice de seleção nos programas de melhoramento de plantas como critério de seleção simultânea de duas ou mais características correlacionadas. Este procedimento foi adaptado ao melhoramento genético animal por Hazel (1943). Segundo esses autores, para se estabelecer o índice de seleção são necessários o valor econômico e as variâncias genótípicas e fenotípicas relativos a cada característica e as covariâncias genótípicas e fenotípicas entre cada par de características.

Pesek e Baker (1969) sugeriram o uso de “ganhos genéticos desejados” de características individuais, num programa de seleção, para substituir os pesos econômicos relativos no cálculo dos índices de seleção. Para se usar a modificação proposta, necessitam-se da média dos genótipos e das matrizes de variância e covariância genotípica e fenotípica. Assim, é possível calcular os coeficientes dos índices sem designar pesos econômicos; dessa forma, o índice obtido resultará em um ganho máximo para cada característica, de acordo com a importância relativa assumida pelo melhorista na especificação do ganho desejado, sujeito às restrições impostas pela constituição fenotípica e genotípica da população.

Williams (1962) propôs o denominado índice-base, objetivando-se evitar a interferência de imprecisões das matrizes de variâncias e covariâncias fenotípicas e genótípicas, na estimação dos coeficientes que constituem o índice. Esse método propõe o estabelecimento de índices, mediante a combinação linear dos valores fenotípicos médios das características, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos (CRUZ; CARNEIRO, 2008). Segundo Cruz e Carneiro (2008), este índice tem apresentado boa aceitação pelos melhoristas, por dispensar as estimativas de variâncias e covariâncias genótípicas e fenotípicas e ter revelado resultados satisfatórios

quando utilizado como critério de seleção em vários trabalhos científicos.

Mulamba e Mock (1978) propuseram o índice com base na soma de postos (ou “ranks”), que consiste em classificar os materiais genotípicos em relação a cada uma das características, em ordem favorável ao melhoramento. Uma vez classificados, são somadas as ordens de cada material genético referente a cada característica, resultando em uma medida adicional, tomada como índice de seleção.

A dificuldade na obtenção de ganhos simultâneos para as principais características de interesse em milho pipoca quando não se faz uso da técnica dos índices de seleção, foi constatada por Marques (2000), que não obteve sucesso na predição de ganho concomitante para rendimento de grãos e capacidade de expansão utilizando seleção truncada. Porém, isso não pode ser tomado como uma verdade absoluta, uma vez que outros autores obtiveram sucesso com a seleção truncada em programa de seleção com milho pipoca (ANDRADE et al., 2002; CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002; DAROS; AMARAL JÚNIOR; PEREIRA, 2002).

Nesses casos há que se pensar em que nível de melhoramento está a população sob seleção, pois há expectativa de que o melhoramento favoreça o aumento da correlação genotípica entre as citadas características, em consequência da concentração de alelos favoráveis na população (DAROS et al., 2004a). De qualquer forma, mesmo que a seleção truncada produza ganhos simultâneos como exemplificado pelo trabalho de Daros, Amaral Júnior e Pereira (2002), cujas estimativas de ganhos preditos foram de 10,39% e 4,69%, respectivamente para capacidade de expansão e rendimento de grãos, no ciclo C1 de seleção recorrente entre famílias de irmãos-completos de UNB-2U; ainda assim tais percentuais foram inferiores aos preditos para recombinação do segundo ciclo de seleção recorrente (17,80% e 26,95%, respectivamente) utilizando-se

o índice de seleção de Smith (1936) e Hazel (1943), conforme detectado por Santos et al. (2003).

Na composição do ciclo C3 de UNB-2U por seleção entre famílias de meios-irmãos, a utilização do índice de Mulamba e Mock (1978) foi o que proporcionou os ganhos mais promissores, quais sejam, de 7,16% para capacidade de expansão e 10,00% para rendimento de grãos (SANTOS et al., 2007). Nesse caso, a despeito da menor perspectiva de ganhos pelo método de seleção entre famílias de meios-irmãos quando comparado aos procedimentos de seleção entre famílias S_1 (como ocorreu com o segundo ciclo), há que se atentar, que em terceiro ciclo de seleção o grau de melhoramento da população é superior a de ciclos anteriores, portanto, a capacidade de junção de alelos favoráveis torna-se menos possível de expressão, o que justificam os ganhos menos proeminentes aferidos com o terceiro ciclo em relação ao segundo ciclo a partir de UNB-2U.

Granate, Cruz e Pacheco (2002), avaliando a população de milho CMS-43, obtiveram sucesso na utilização do índice de Smith (1936) e Hazel (1943) na predição de progresso desejado nas características altura de planta, produção e capacidade de expansão, quando usaram pesos obtidos aleatoriamente por tentativas. Viana e Matta (2003), utilizando o índice de Elston (1963), também obtiveram resultados satisfatórios para capacidade de expansão e produção.

Sendo assim, com o objetivo de selecionar 30 famílias de irmãos-completos superiores para características de interesse ao programa de melhoramento de milho pipoca da UENF, foram utilizados os procedimentos analíticos dos índices de seleção de Mulamba e Mock (1978), Pesek e Baker (1969), Smith (1936) e Hazel (1943) e Williams (1962), com o intento de identificar as famílias com capacidade para promover aumentos efetivos na concentração de alelos favoráveis.

Material e métodos

Os ensaios de competição foram conduzidos no ano agrícola 2005/2006, no Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro na Região Norte Fluminense e na Estação Experimental da PESAGRO-RIO, em Itaocara, Rio de Janeiro, localizada na Região Noroeste Fluminense. A distância entre as localidades é de 120 Km.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições dentro de oito “sets”, cada qual constituído de vinte e cinco famílias de irmãos-completos e cinco testemunhas (ciclos C0, C1, C2 e C3 de UNB-2U, além da variedade melhorada BRS Angela). Cada família foi cultivada em linhas de 5,00 m de comprimento, espaçadas em 1,00 m, com 25 plantas distanciadas em 0,20 m uma da outra. Os tratos culturais foram realizados quando necessários, conforme as recomendações para a cultura (SAWAZAKI, 2001).

As seguintes características foram avaliadas: a) altura média da planta por parcela (AP), em cm; b) altura média de inserção da espiga superior por parcela (AE), em cm; c) número médio de plantas acamadas por parcela (NPA), obtido pela média de plantas que apresentavam um ângulo de inclinação superior a 45° em relação à vertical, na ocasião da colheita; d) número médio de plantas quebradas (NPQ), obtido pela média de plantas que apresentavam o colmo quebrado abaixo da espiga superior em cada parcela, na ocasião da colheita; e) estande final (NP), expresso pelo número de plantas na parcela, na ocasião da colheita; f) número médio de espigas por parcela (NE); g) rendimento de grãos (RG), em Kg.ha⁻¹; h) peso médio de espigas com grãos por parcela (PE), obtido pela média da pesagem das espigas despalhadas, em kg; i) número médio de espigas doentes por parcela (ND); j) número médio de espigas atacadas por pragas por parcela (NP); l) número médio de espigas mal empalhadas por parcela (EMP); m) número médio de dias para o florescimento (FLOR), avaliado pela quantificação

do período compreendido entre o plantio e a liberação dos estilos de 50% das plantas da fileira; n) peso médio de 100 grãos (P100), utilizando-se balança com duas casas decimais; o) capacidade de expansão (CE), determinada em laboratório, de acordo com o método recomendado por Pacheco et al. (1998), utilizando-se de pipoqueira elétrica adquirida da EMBRAPA-Instrumentação Agropecuária.

A análise da variância foi realizada considerando-se o modelo estatístico: $Y_{ijkl} = m + E_i + S_j + ES_{ij} + R/ES_{ijk} + F/S_{jl} + EF/S_{jil} + X_{ijkl}$, em que m é a constante; E_i é o efeito fixo do i -ésimo ambiente; S_j é o efeito do j -ésimo “set”; ES_{ij} é o efeito da interação entre ambientes e “sets”; R/ES_{ijk} é o efeito da k -ésima repetição dentro da interação entre o i -ésimo ambiente e o j -ésimo “set”; F/S_{jl} é o efeito do i -ésimo genótipo dentro do j -ésimo “set”; EF/S_{jil} é o efeito da interação de ambientes e genótipos dentro do j -ésimo “set”, e X_{ijkl} é o erro experimental (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1988).

Os índices de seleção empregados para prever os ganhos foram o de Mulamba e Mock (1978), o índice Clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), o proposto por Pesek e Baker (1969), e o de Williams (1962).

O índice de Mulamba e Mock (1978) hierarquiza os genótipos, inicialmente, para cada característica, por meio da atribuição de valores absolutos mais elevados àqueles de melhor desempenho. Por fim, os valores atribuídos a cada característica são somados, obtendo-se a soma dos “ranks”, que assinala a classificação dos genótipos (CRUZ; CARNEIRO, 2008). O índice de Smith (1936) e Hazel (1943) fundamenta-se na solução do sistema matricial: $b = P^{-1}Ga$, em que b é o vetor de dimensão 14×1 dos coeficientes de ponderação do índice, a serem estimados; P^{-1} é a inversa da matriz de dimensão 14×14 de variâncias e covariâncias fenotípicas entre as características; G é a matriz de dimensão 14×14 de variâncias e covariâncias genéticas entre as características; e a é um vetor 14×1 de pesos econômicos. O método de Pesek e Baker

(1969) baseia-se nos ganhos desejados para evitar a inexactidão de atribuição de valores aos pesos econômicos e define-se por: $b = G^{-1}\Delta gd$, em que Δgd é o vetor de ganhos desejados; G^{-1} é a inversa da matriz de variâncias e covariâncias genéticas. O procedimento analítico de Williams (1962) dispensa o uso de matrizes de variâncias e covariâncias, com o intento de evitar estimações imprecisas desses componentes, sendo expresso por: $I = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = a'X$, em que I é o índice de seleção; a_i é o peso econômico atribuído à característica i , sendo $i = 1, \dots, n$; a' é o vetor dos pesos econômicos; x_i é a média da característica i , sendo $i = 1, \dots, n$; e X é o vetor das médias das $n = 14$, características que constituem o índice.

Os pesos econômicos adotados foram: a) coeficiente de variação genético (CV_g); b) desvio padrão genético (DP_g); c) herdabilidade (h^2); e d) pesos atribuídos por tentativas (PA) de magnitudes de 1, 10, 20, 1, 100, 100, 1, 1, 1, 1, 15, 25 e 15 respectivamente, para as características NE, ND, NP, PE, PG, CE, P100, FLOR, AP, AE, NP, NPQ, NPA e EME, que se referem aos valores ótimos para obtenção de ganhos para a totalidade das características. Foram obtidos, aleatoriamente, após atribuição de diversas grandezas. O Programa GENES (CRUZ, 2006) foi utilizado para realização das análises estatísticas.

Resultados e discussão

A Tabela 1 contém as estimativas dos ganhos percentuais preditos para o índice de seleção de Mulamba e Mock (1978) e de Smith (1936) e Hazel (1943), utilizando como pesos econômicos: coeficiente de variação genético (CV_g), desvio-padrão genético (DP_g), índice de variação (CV_g/CV_e), herdabilidade (h^2) e pesos atribuídos por tentativas (PA) (1, 10, 20, 1, 100, 100, 1, 1, 1, 1, 15, 25, 15), sendo a seleção praticada nas características NE, ND, NP, PE, PG, CE, P100, FLOR, AP, AE, NP, NPQ, NPA e EME.

Avaliando-se os pesos econômicos CV_g e h^2 , nota-se que as características ND, NP, FLOR, AP, AE, NPQ, NPA e EME revelaram ganhos negativos, o que é interessante na obtenção de uma população melhorada já que interessa uma população com menor número de espigas doentes, menor número de espigas atacadas por pragas, menor número de plantas quebradas e acamadas, ser precoce e apresentar porte menor. Essa última característica se justifica em razão dos fortes ventos que ocorrem nas regiões Norte e Noroeste Fluminense.

Quando foram utilizados os pesos econômicos DP_g e CV_g somente a característica ND expressou ganhos negativos. As características NP, FLOR, AP, AE, NPQ, NPA e EME expressaram ganhos positivos, o que não é interessante na obtenção de uma população, pois essa apresentará características indesejáveis (maior “quantum” de plantas acamadas e quebradas, bem como maior quantidade de espigas mal empalhadas), o que conseqüentemente acarretará baixa produtividade e qualidade dos grãos e, certamente, baixa capacidade de expansão.

Avaliando-se o peso econômico (PA), percebe-se que as características ND, NP, FLOR, AP, AE, NPQ, NPA e EME, exibiram ganhos negativos, o que é interessante na obtenção de uma população, já as características NE, PE, PG, CE e NP apresentaram ganhos positivos. Nesse aspecto, quando utilizou-se o índice de seleção de Mulamba e Mock (1978), atribuindo pesos arbitrários, foi possível obter maiores ganhos. Vilarinho et al. (2003), avaliando a eficiência da seleção truncada, dos índices de Smith (1936) e Hazel (1943), de Williams (1962), de Pesek e Baker (1969), de Mulamba e Mock (1978) e de Elston (1963), na identificação de progênies S_1 e S_2 superiores de milho pipoca, concluíram que a estratégia de seleção recomendada para 30 e 60 famílias o índice de Mulamba e Mock (1978) foi o que proporcionou os resultados mais desejáveis para ganhos satisfatórios em produção e capacidade de expansão.

Tabela 1. Estimativas dos ganhos percentuais, com base no diferencial de seleção, por seleção simultânea em quatorze características no quarto ciclo de seleção recorrente intrapopulacional em famílias de irmãos-completos em milho pipoca. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ, 2006.

Características ^{1/}	Mulamba e Mock					Smith e Hazel				
	CV _g	DP _g	CV _g /CV _e	h ²	PA	CV _g	DP _g	CV _g /CV _e	h ²	PA
NE	1,30	5,56	4,72	4,66	3,27	4,92	4,92	4,92	4,92	4,47
ND	-7,24	-3,27	-0,23	-6,55	-3,96	-4,59	-4,59	-4,59	-4,59	-6,66
NP	-0,92	0,52	2,24	-0,48	-2,53	0,30	0,30	0,30	0,30	0,41
PE	5,02	11,04	6,50	8,11	7,52	10,57	10,57	10,57	10,57	10,17
RG	5,11	11,60	6,47	8,86	8,50	11,17	11,17	11,17	11,17	10,98
CE	2,14	1,27	9,44	5,49	10,55	1,39	1,39	1,39	1,39	0,47
P100	1,29	2,31	1,21	2,83	0,14	2,10	2,10	2,10	2,10	2,76
FLOR	-0,69	-0,59	0,66	-0,38	-0,86	-1,21	-1,21	-1,21	-1,21	-1,00
AP	-1,34	0,50	2,33	-1,26	-0,37	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,83
AE	-0,83	0,35	1,42	-0,79	-0,30	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,22
NP	0,52	0,74	0,60	0,80	0,60	0,72	0,72	0,72	0,72	0,68
NPQ	-5,01	1,44	0,93	-2,32	-2,48	2,53	2,53	2,53	2,53	3,56
NPA	-26,76	2,14	17,69	-8,42	-0,65	-5,32	-5,32	-5,32	-5,32	-3,45
EMP	-132,92	2,52	10,61	-4,96	-4,53	2,51	2,51	2,51	2,51	2,08

Pesos econômicos utilizados nos índices de seleção: CV_g = coeficiente de variação genético; DP_g = desvio-padrão genético; CV_g / CV_e = razão CV_g / CV_e; h² = herdabilidade e PA = Pesos atribuídos por tentativas (1, 10, 20, 1, 100, 100, 1, 1, 1, 1, 1, 15, 25, 15). ^{1/}NE = número médio de espigas; ND = número médio de espigas doentes; NP = número médio de espigas com pragas; PE = peso médio de espiga com praga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; P100 = peso médio de cem grãos; FLOR = média de dias para florescimento; AP = altura média de planta; AE = altura média de espiga; NP = estande final; NPQ = número médio de plantas quebradas; NPA = número médio de plantas acamadas; e EMP = número médio de espigas mal empalhadas.

Comparando a eficiência de vários índices de seleção e dos ganhos preditos por cada um deles, no melhoramento da resistência ao frio em duas populações de milho, Crosbie, Mock e Smith (1980), observaram que os melhores ganhos em todas as características avaliadas foram possíveis com os índices de seleção de Mulamba e Mock (1978), multiplicativo, de Elston (1963) e de Williams (1962). Consideraram ainda que estes índices têm a vantagem de não serem afetados pela desigualdade das variâncias das características, bem como da simplicidade de uso e de não necessitarem da estimação de parâmetros genéticos, embora sejam menos robustos na expressão de ganhos do que o índice Clássico de Smith (1936) e Hazel (1943).

Pelo índice de Smith (1936) e Hazel (1943), foi possível prever ganhos simultâneos nas duas principais características (CE e RG), em todos os

pesos econômicos atribuídos (Tabela 1). Quando os pesos econômicos foram o CV_g, DP_g a relação CV_g / CV_e e a herdabilidade, os ganhos previstos foram iguais em todas as características, demonstrando que os valores não foram discrepantes o suficiente para causar mudanças nos ganhos.

Um dos maiores ganhos para RG (11,17%), foi predito por este índice. Para todos os pesos econômicos utilizados, NP, NPQ e EMP houve ganhos positivos pequenos, o que não é desejável, pois a população tenderá a conter no próximo ciclo, maior número de espigas atacadas por pragas, maior número de plantas quebradas e maior número de espigas mal empalhadas.

Os ganhos preditos para as características ND, FLOR e NPA foram negativos, o que é interessante, pois o que se almeja é uma população com menor

ataque de doenças, bem como menor número de plantas acamadas e maior precocidade de florescimento. Avaliando-se RG, nota-se que apesar de revelar ganhos superiores ao do melhor ganho pelo índice de Mulamba e Mock (1978), apresentou ganho muito baixo para capacidade de expansão quando comparado com o obtido pelo índice de Mulamba e Mock (1978).

Cruz et al. (1993) verificaram ganhos simultâneos nas características teor de óleo e rendimento de espigas, em progênies de irmãos-completos de milho comum por meio de índices de seleção, o que não foi possível quando usaram a seleção direta e indireta. Gabriel (2006) ao utilizar o índice de Smith (1936) e Hazel (1943) em um programa de seleção recorrente em famílias de irmãos-completos em milho comum obteve ganhos proeminentes para rendimento de grãos, da ordem de 14,26 %.

Os ganhos percentuais preditos para o índice de seleção de Pesek e Baker (1969), expostos na Tabela 2, demonstraram que quando os pesos econômicos atribuídos foram o CV_g , o DP_g , a herdabilidade, a razão CV_g/CV_e e os pesos atribuídos por tentativas, houve estimativas de ganhos preditos superiores ao índice de Smith (1936) e Hazel (1943) e de Mulamba e Mock (1978) para CE, mas não para RG. Quando o desvio-padrão genético foi utilizado, obtiveram-se os melhores resultados, sendo preditos ganhos simultâneos de 7,99% e 10,75% para RG e CE, respectivamente. Quando utilizaram-se como pesos econômicos os CV_g , as razões CV_g/CV_e , as herdabilidades e os PA, estas expressaram ganhos acima de 16,00% para CE, porém apresentaram ganhos abaixo de 2,00% para RG. Martins, Cristo e Santos (2006) trabalhando com eucalipto,

consideraram o índice de Pesek e Baker (1969) mais eficiente do que Smith (1936) e Hazel (1943) na obtenção de menores ganhos para número de árvores com ferrugem e cancro.

Na utilização do CV_g , o procedimento de Pesek e Baker (1969) resultou em ganhos desejáveis para ND, NP, NPQ, NPA e EME, o que pode ser interessante para a melhoria da população, por reduzir a suscetibilidade a pragas e doenças, reduzir o quebramento e acamamento de plantas bem como reduzir o número de espigas mal empalhadas. Ao utilizar o DP_g , como peso econômico, notaram-se ganhos positivos para NPQ e EMP, portanto indesejáveis, pois a população tenderá apresentar maior número de plantas quebradas além de aumentar o número de espigas mal empalhadas. Ao utilizar como peso econômico PA, foram verificados ganhos negativos para ND, NP, AP, NPQ, NPA e EME, logo, desejáveis, pois a população tenderá apresentar menor número de espigas com pragas e doentes, menor número de quebramento e acamamento, menor número de espigas mal empalhadas, bem como plantas de porte menor, mais ideais para regiões com alta incidência de ventos, como ocorre no Norte e Noroeste Fluminense.

Quando os pesos econômicos foram CV_g/CV_e e a herdabilidade, os ganhos previstos foram iguais em todas as características. Todavia, a utilização da herdabilidade e da razão CV_g/CV_e , no procedimento de Pesek e Baker (1969), resultou em ganhos indesejáveis para NP, NPA e EME, o que indica não ser interessante para a melhoria simultânea, por potencializar a suscetibilidade a pragas, o acamamento de plantas, bem como o número de espigas mal empalhadas.

Tabela 2. Estimativas dos ganhos percentuais, com base no diferencial de seleção, por seleção simultânea em quatorze características no quarto ciclo de seleção recorrente intrapopulacional em famílias de irmãos-completos em milho pipoca. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ, 2006.

Características ^{1/}	Pesek e Baker					Williams				
	CV _g	DP _g	Cvg/Cve	h ²	PA	CV _g	DP _g	Cvg/Cve	h ²	PA
NE	1,37	2,39	1,45	1,45	1,37	5,66	5,66	5,66	5,66	5,27
ND	-1,38	-4,31	-0,40	-0,40	-1,38	-3,73	-3,73	-3,73	-3,73	-4,88
NP	-0,03	-1,20	0,30	0,30	-0,03	0,69	0,69	0,69	0,69	0,80
PE	0,60	7,95	0,30	0,30	0,60	11,03	11,03	11,03	11,03	10,33
RG	1,42	7,99	0,96	0,96	1,42	11,63	11,63	11,63	11,63	11,78
CE	16,92	10,75	16,98	16,98	16,92	0,72	0,72	0,72	0,72	1,98
P100	-3,75	-0,07	-3,78	-3,78	-3,75	2,53	2,53	2,53	2,53	2,25
FLOR	0,03	-0,81	0,09	0,09	0,03	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,77
AP	-0,77	-0,52	-0,54	-0,54	-0,77	0,38	0,38	0,38	0,38	0,57
AE	0,23	0,14	0,33	0,33	0,23	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31
NP	0,13	0,47	0,04	0,04	0,13	0,72	0,72	0,72	0,72	0,59
NPQ	-2,53	3,15	-2,17	-2,17	-2,53	1,80	1,80	1,80	1,80	2,42
NPA	-0,34	-0,96	0,59	0,59	-0,34	2,14	2,14	2,14	2,14	5,87
EMP	-1,33	1,87	-1,12	-1,12	-1,33	2,08	2,08	2,08	2,08	-0,48

Pesos econômicos utilizados nos índices de seleção: CV_g = coeficiente de variação genético; DP_g = desvio-padrão genético; CV_g / CV_c = razão CV_g / CV_c; h² = herdabilidade e PA = Pesos atribuídos por tentativas (1, 10, 20, 1, 100, 100, 1, 1, 1, 1, 1, 15, 25, 15). ^{1/}NE = número médio de espigas; ND = número médio de espigas doentes; NP = número médio de espigas com pragas; PE = peso médio de espiga com praga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; P100 = peso médio de cem grãos; FLOR = média de dias para florescimento; AP = altura média de planta; AE = altura média de espiga; NP = estande final; NPQ = número médio de plantas quebradas; NPA = número médio de plantas acamadas e EMP = número médio de espigas mal empalhadas.

No que se refere ao índice de seleção de Williams (1962), quando os pesos econômicos foram o CV_g, o DP_g, a razão CV_g/CV_c e a herdabilidade, os ganhos previstos foram iguais em todas as características (Tabela 2), resultado semelhante ao ocorrido quando utilizou-se o índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), demonstrando que os valores não foram discrepantes o suficiente para causar mudanças nos ganhos. Quando os pesos econômicos utilizados foram o CV_g, o DP_g, a razão CV_g/CV_c, a herdabilidade e PA, houve obtenção de ganhos positivos nas características RG e CE. No entanto, a CE apresentou ganho muito baixo, não ultrapassando 2,00% (Tabela 2). Ao analisar a viabilidade do uso do índice de seleção de Williams (1962) em milho pipoca, Granate, Cruz e Pacheco (2002) concluíram que o mesmo não permitiu

a obtenção de estimativas de ganhos preditos simultâneos nas características de interesse em RG e CE. Como os principais objetivos deste trabalho foram a melhoria simultânea das características CE e RG, não é interessante o uso de índices que resultem em baixos ganhos na média de uma dessas características.

Para o presente trabalho o índice fulcrado na “soma de ranks” de Mulamba e Mock (1978), permitiu ganhos superiores e melhor distribuídos entre as características. Assim, selecionaram-se os 30 melhores genótipos, fornecidos pelo índice de Mulamba e Mock (1978), de modo que foi possível manter o ganho genético para CE e RG além de proporcionar ganhos negativos para ND, NP, AP, AE, NPQ, NPA e EME, conforme pode ser deduzido da Tabela 1.

As Tabelas 3 e 4 contêm as médias das 30 famílias de irmãos-completos que permitiram melhores ganhos pelo índice com base na Soma de Ranks, de Mulamba e Mock (1978). Nota-se que estas famílias apresentaram elevadas médias para capacidade de expansão e rendimento de grãos além de apresentarem baixas médias para ND, NP, AP, AE, NPQ, NPA e EME. Neste sentido, o índice de

Mulamba e Mock (1978), foi o que proporcionou os melhores resultados para a seleção das famílias de irmãos-completos, não apenas por proporcionar ganhos satisfatórios para CE e RG, mas também por revelar ganhos negativos para características indesejáveis ao melhoramento do milho pipoca para o Norte e Noroeste Fluminense.

Tabela 3. Médias de sete características, avaliadas em 30 famílias de irmãos-completos, selecionadas pelo índice Mulamba e Mock (1978), para compor o quarto ciclo de seleção recorrente. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ, 2006.

Genótipos	Médias das Características						
	NE	ND	NP	PE	RG	CE	FLOR
1	30,00	2,00	4,75	3495,00	2937,50	24,50	61,25
4	27,00	1,25	3,00	3300,00	2745,00	30,45	57,75
7	31,25	2,25	3,00	3615,00	2957,50	29,33	57,25
26	30,75	1,75	1,75	3825,00	3130,00	25,03	56,00
28	30,25	2,50	4,25	3070,00	2427,50	31,35	56,75
31	35,25	5,50	2,75	3735,00	2920,00	27,00	57,25
36	24,25	3,25	4,00	3205,00	2582,50	28,45	55,50
37	28,50	2,25	3,50	3335,00	2695,00	26,13	54,25
38	28,75	3,00	2,75	3357,50	2500,00	27,50	58,00
40	26,00	2,75	2,25	3005,00	2435,00	31,13	56,25
49	24,50	1,50	4,00	3565,00	2907,50	25,90	57,25
54	36,00	4,00	3,50	3680,00	2860,00	27,33	56,00
66	25,25	3,25	2,00	3235,00	2645,00	28,33	55,00
83	32,00	0,75	1,00	3465,00	2885,00	28,45	56,25
96	27,00	3,50	2,75	3327,50	2635,00	31,88	57,75
111	24,00	1,25	2,50	3417,50	2877,50	27,45	55,00
113	30,25	2,25	3,50	3487,50	2892,50	26,93	56,25
116	29,25	4,50	2,00	3300,00	2720,00	26,20	54,00
125	29,50	3,50	2,75	3642,50	2735,00	29,83	56,50
131	33,25	1,50	3,00	3130,00	2527,50	28,43	59,50
135	29,75	3,75	2,00	3577,50	2885,00	27,48	55,00
147	29,25	1,75	1,25	3260,00	2567,50	27,53	60,00
152	27,50	3,50	3,00	2755,00	2862,50	29,45	56,50
155	23,50	3,00	2,00	2815,00	2315,00	30,65	59,25
166	30,50	1,00	3,00	3590,00	2997,50	23,98	54,25
167	36,75	2,50	5,50	3485,00	3320,00	28,65	58,25
172	24,75	1,00	3,25	3582,50	2937,50	26,30	57,75
177	26,75	3,00	2,75	3385,00	2812,50	28,70	55,50
178	30,50	4,50	2,25	3462,50	2757,50	29,05	59,50
195	29,50	5,00	2,25	3390,00	2705,00	26,83	55,50

^{1/} NE = número médio de espigas; ND = número médio de espigas doentes; NP = número médio de espigas com pragas; PE = peso médio de espigas com grãos; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão e FLOR = média de número de dias para o florescimento.

Tabela 4. Médias de sete características, avaliadas em 30 famílias de irmãos-completos, selecionadas pelo índice Mulamba e Mock (1978), para compor o quarto ciclo de seleção recorrente. Campos dos Goytacazes e Itaocara, RJ, 2006.

Genótipos	Médias Características						
	P100	AP	AE	NP	NPQ	NPA	EMP
1	11,48	2,10	1,29	25,25	2,75	0,50	2,75
4	11,98	1,84	1,15	22,25	2,25	1,25	1,75
7	11,90	2,02	1,10	24,25	4,00	1,00	2,00
26	11,19	1,85	1,11	22,75	6,50	0,50	2,50
28	11,48	2,10	1,29	25,25	2,75	0,50	2,75
31	11,49	2,11	1,34	23,75	9,25	1,25	2,25
36	13,56	1,89	1,14	22,50	2,75	1,25	2,75
37	13,19	1,81	1,08	24,25	3,50	0,00	3,25
38	11,35	1,88	1,29	24,00	3,75	0,75	0,75
40	11,40	2,03	1,27	20,50	5,00	0,00	2,50
49	12,49	1,89	1,03	24,00	5,00	0,50	3,25
54	11,37	2,16	1,24	22,75	7,50	2,00	0,50
66	14,26	1,92	1,13	23,50	5,00	1,25	1,75
83	11,45	1,73	1,30	21,75	7,50	3,50	1,00
96	15,19	1,96	1,26	24,00	5,50	0,25	2,50
111	12,45	1,79	1,16	24,75	5,25	0,50	2,75
113	10,80	2,04	1,34	24,25	7,75	0,75	1,75
116	10,83	1,93	1,29	24,75	4,75	0,50	1,00
125	12,84	1,82	1,16	25,25	7,75	0,75	2,25
131	10,99	1,89	1,30	24,25	6,25	2,00	0,50
135	11,67	1,97	1,12	23,75	2,50	1,50	2,50
147	12,21	2,00	1,18	23,50	4,00	3,00	1,75
152	12,18	1,94	1,20	24,50	8,75	0,75	0,25
155	9,91	1,88	1,13	22,25	8,25	0,25	1,00
166	12,78	1,92	1,06	23,25	3,00	0,50	0,50
167	11,25	2,00	1,35	24,50	4,75	2,75	1,00
172	15,49	1,95	1,30	24,00	6,75	2,00	3,25
177	12,08	2,02	1,31	21,75	5,75	2,25	2,75
178	10,81	2,01	1,30	24,50	4,50	0,50	1,75
195	10,42	1,92	1,26	22,25	10,75	0,75	0,75

^{1/} P100 = peso médio de cem grãos; AP = altura média de plantas; AE = altura média de espigas; NP = estande final; NPQ = número médio de plantas quebradas; NPA = número médio de plantas acamadas e EMP = número médio de espigas mal empalhadas.

Conclusões

A utilização de índices de seleção permitiu a predição de ganhos simultâneos nas duas principais características (CE e RG), sendo que a seleção das famílias superiores, realizada com base no índice de Mulamba e Mock (1978), produziu os maiores ganhos preditos, de 10,55% para capacidade de expansão e 8,50% para produção, além de ganhos

negativos para ND, NP, AP, AE, NPQ, NPA, EMP, portanto, o procedimento mais adequado na seleção das progênies. Neste sentido, a estratégia de seleção recomendada para a seleção das 30 famílias de irmãos-completos, superiores para constituírem o quarto ciclo de seleção recorrente superiores baseou-se no índice de Mulamba e Mock (1978) utilizando-se como pesos econômicos os pesos arbitrários.

Agradecimentos

À UENF pelo fornecimento da bolsa de estudo; à FAPERJ e ao CNPq, pelo suporte financeiro para a implantação dos experimentos de campo e realização das análises laboratoriais.

Referências

- ANDRADE, R. A.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A.; SILVÉRIO, L.; PINTO, R. J. B.; TONET, A. Análise dialéctica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1197-1204, 2002.
- CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; TAKAHASHI, H. W.; ENDO, R. M.; PETEK, M. R.; SEIFERT, A. Correlações entre caracteres quantitativos em milho pipoca. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 551-554, 2002.
- CROSBIE, T. M.; MOCK, J. J.; SMITH, O. S. Comparasion of gains predicted by several methods for cold tolerance traits of two maize populations. *Crop Science*, Madison, v. 20, n. 5, p. 649-655, 1980.
- CRUZ, C. D. *Programa GENES: biometria*. Viçosa: UFV, 2006.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2008.
- CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R.; OLIVEIRA E SILVA, S.; TOSELLO, G. A. Comparison of gains from selection among corn progenies based on different criteria. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 79-89, 1993.
- DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G. Genetic gain for grain yield and popping expansion in flull-sib recurrent selection in popcorn. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Londrina, v. 2, n. 3, p. 339-344, 2002.
- DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, F. S.; GABRIEL, A. P. C.; SCAPIM, C. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; SILVÉRIO, L. Recurrent selection in inbred popcorn families. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 609-614, 2004.
- DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, F. S.; SCAPIM, C. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; DAHER, R. F.; ÁVILLA, M. R. Correlações entre caracteres agrônômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho-pipoca. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1389-1394, 2004b.
- ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. *Biometrics*, Washington, v. 19, n. 1, p. 85-97, 1963.
- FARIA, V. R.; VIANA, J. M. S.; SOBREIRA, F. M.; SILVA, A. C. Seleção recorrente recíproca na obtenção de híbridos interpopulacionais de milho-pipoca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 43, n. 12, p. 1749-1755, 2008.
- FREITAS JÚNIOR, S. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A. Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 41, n. 11, p. 1599-1607, 2006.
- FREITAS JÚNIOR, S. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; RANGEL, R. M.; VIANA, A. P. Genetic gains in popcorn by full-sib recurrent selection. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Londrina, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2009.
- GABRIEL, A. P. C. *Melhoramento de milho: seleção recorrente recíproca em famílias de irmãos-completos*. 2006. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2006.
- GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 37, n. 7, p. 101-108, 2002.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. *Quantitative genetics in maize breeding*. Ames: Iowa State University Press, 1988.
- HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, Austin, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.
- MARQUES, M. J. B. S. G. S. M. *Número mínimo de famílias de meios-irmãos de milho pipoca: critério de seleção e predição de ganhos por seleção*. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- MARTINS, I. S.; CRISTO, R. C. M.; SANTOS, D. P. Alternativas de índices de seleção em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill x Maiden. *Revista Cerne*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 287-291, 2006.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egyptian Journal of Genetics and Cytology*, Alexandria, v. 7, n. 1, p. 40-51, 1978.
- PACHECO, C. A. P.; GAMA, E. P.; GUIMARÃES, P. E. O.; SANTOS, M. X.; FERREIRA, A. S. Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-

- 43 de milho pipoca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, p. 1995-2001, 1998.
- PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selection indices. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 1, n. 1, p. 215-274, 1969.
- RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIANA, A. P.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; PEREIRA, M. G. Prediction of popcorn hybrid and composite means. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 7, n. 3, p. 288-296, 2007.
- RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; SCAPIM, C. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; PEREIRA, M. G. Genetic parameters in parents and hybrids of circulant diallel in popcorn. *Genetics and Molecular Research*, Ribeirão Preto, v. 7, n. 4, p. 1020-1030, 2008.
- SANTOS, F. S.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; RANGEL, R. M.; PEREIRA, M. G. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 3, p. 389-396, 2007.
- SANTOS, F. S.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; RANGEL, R. M.; SCAPIM, C. A.; MORA, F. Genetic gain prediction of the third recurrent selection cycle in a popcorn population. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 30, n. 5, p. 651-655, 2008.
- SANTOS, F. S.; DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; TARDIN, F. D.; RIVA, E. M. Uso do índice de seleção de Smith & Hazel na população de milho de pipoca UNB-2U para obtenção do segundo ciclo de seleção recorrente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2, 2003, Porto Seguro. *Anais...* Porto Seguro: Brazilian Society of Plant breeding, 2003. p. 9-12.
- SAWAZAKI, E. A cultura do milho pipoca no Brasil. *O Agrônomo*, Campinas, v. 53, n. 2, p. 11-13, 2001.
- SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, London, v. 7, p. 240-250, 1936.
- VIANA, J. M. S.; MATTA, F. P. Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations including selfed parents. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 26, n. 4, p. 465-471, 2003.
- VIEIRA, R. A.; NETO, I. L. S.; BIGNOTTO, L. S.; CRUZ, C. D.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; SCAPIM, C. A. Heterotic parametrization for economically important traits in popcorn. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 31, n. 3, p. 411-419, 2009a.
- VIEIRA, R. A.; RODOVALHO, M. A.; SCAPIM, C. A.; TESSMAN, D. J.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; BIGNOTTO, L. Desempenho agrônomo de novos híbridos de milho-pipoca no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 31, n. 1, p. 29-36, 2009b.
- VILARINHO, A. A.; VIANA, J. M. S.; SANTOS, J. F.; CÂMARA, T. M. M. Eficiência da seleção de progênies S_1 e S_2 de milho-pipoca visando à produção de linhagens. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 1, p. 9-17, 2003.
- VILELA, F. O.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SCAPIM, C. A.; VIANA, A. P.; FREITAS JÚNIOR, S. P. Effect of recurrent selection on the genetic variability of the UNB-2U popcorn population using RAPD markers. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 25-30, 2008.
- WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. *Biometrics*, Washington, v. 18, p. 375-393, 1962.